

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В MATLAB

Файзиев М.М.<sup>1</sup>, Курбанов Н.А.<sup>2</sup>, Имомназаров А.Б.<sup>3</sup>, Бекишев А.Э.<sup>4</sup>  
Email: Fayziyev627@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Файзиев Махманазар Мансурович - кандидат технических наук, доцент;

<sup>2</sup>Курбанов Нажмиддин Абдихамидович - старший преподаватель;

<sup>3</sup>Имомназаров Азизбек Ботирович - соискатель, ассистент,  
кафедра электроэнергетики,

Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши;

<sup>4</sup>Бекишев Аллаберган Эргашевич - соискатель, заместитель директора,  
Куйи Чирчикский транспортно-сервисный профессиональный колледж,  
г. Куйи, Чирчикский район, Ташкентская область, Республика Узбекистан

**Аннотация:** в научной статье приведены фундаментальные материалы информационно-системных блоков SimPowerSystems и дополнительных информационных системных блоков Simulink для теоретического анализа моделирования электрических машин. Для расчета и диагностирования электрических машин на различные режимы составляется пиктограмма. В составе пиктограмм блок Asynchronous Machine моделирует асинхронную электрическую машину в двигательном или генераторном режимах. Режим работы определяется знаком электромагнитного момента электрических машин.

**Ключевые слова:** информационно-системных блоков SimPowerSystems, Simulink, моделирование конкретных устройств, функции MATLAB, пиктограмма асинхронных машин, synchronous Machine SI Units, Asynchronous Machine pu Units, модель имитации пуска трёхфазного асинхронного двигателя в MATLAB.

## SIMULATION RUN ASYNCHRONOUS MOTOR IN MATLAB Fayziyev M.M.<sup>1</sup>, Qurbanov N.A.<sup>2</sup>, Imomnazarov A.B.<sup>3</sup>, Bekishev A.E.<sup>4</sup> Email: Fayziyev627@scientifictext.ru

<sup>1</sup>Fayziyev Mahmanazar Mansurovich - Ph.D, Associate Professor;

<sup>2</sup>Qurbanov Najmiddin Abdihamidovich - Senior Lecturer;

<sup>3</sup>Imomnazarov Azizbek Botirovich - applicant, assistant,

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENERGY KARSHI ENGINEERING - ECONOMIC INSTITUTE, KARSHI,

<sup>4</sup>Bekishev Allabergan Ergashevich - applicant, Deputy Director,

KUYI CHIRCHIK TRANSPORT-SERVICE OF PROF. COLLEGE,

KUYI CHIRCHIK DISTRICT, TASHKENT REGION, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

**Abstract:** fundamental materials of information systemic blocks of SimPower systems and additional information system blocks of Simulink for theoretical analysis to model electronic machines are given in the research article. Calculating the work of machines and diagnosing it with various modes a pictographic report is done. Asynchronous machine compositing pictographic block forms asynchronous electric machine in engine or generator mode. The mode of the work is found out by the sign of electro – magnetic moment of the machine.

**Keywords:** information system blocks of SimPowerSystems, Simulink, modeling concrete devices, functions of MATLAB, pictographic of asynchronous machines, synchronous machine SI Units, Asynchronous machine pu Units, the model of invitation of the Start of three phased engine in MATLAB.

УДК 681.3.075

Информационно-системные блоки SimPowerSystems являются одной из множества дополнительных информационных систем блоков Simulink, ориентированных на моделирование конкретных устройств. Блок SimPowerSystems [1, 167-172] содержит набор блоков для имитационного моделирования электротехнических устройств. В состав блока входят модели пассивных и активных электротехнических элементов и тому подобного оборудования. Пользователь может не только имитировать работу устройств во временной области, но и выполнять различные виды анализа таких устройств. В частности, пользователь имеет возможность рассчитать установившийся режим работы системы на перемennom токе, выполнить расчет импеданса полного сопротивления участка цепи, получить частотные характеристики, проанализировать устойчивость, а также выполнить гармонический анализ токов и напряжений.

Несомненным достоинством SimPowerSystems является то, что сложные электротехнические системы можно моделировать, сочетая методы имитационного и структурного моделирования. Например, силовую часть полупроводникового преобразователя электрической энергии можно выполнить с

использованием имитационных систем блоков SimPowerSystems, а систему управления - с помощью обычных блоков Simulink, отражающих лишь алгоритм ее работы, а не ее электрическую схему. Такой подход, в отличие от пакетов схемотехнического моделирования, позволяет значительно упростить всю модель, а значит, повысить ее устойчивость и скорость работы. Кроме того, в модели с использованием блоков SimPowerSystems (в дальнейшем - SPS-модели) можно использовать блоки и остальных блоков Simulink, а также функции самого MATLAB, что дает практически неограниченные возможности для моделирования электротехнических систем. Информационно-системные блоки SimPowerSystems достаточно обширны. В том случае если все же нужного блока в информационно-системном блоке нет, пользователь имеет возможность создать свой собственный блок как с помощью уже имеющихся в системном блоке, реализуя возможности Simulink по созданию подсистем, так и на основе блоков основной системы Simulink и управляемых источников тока или напряжения.

Таким образом, SimPowerSystems в составе Simulink на настоящее время может считаться одним из лучших пакетов для моделирования электротехнических устройств и систем.

**Назначение пиктограмм:** Блок Asynchronous Machine моделирует асинхронную электрическую машину в двигательном или генераторном режимах. Режим работы определяется знаком электромагнитного момента машины.



а - synchronous Machine SI Units- параметры машины задаются в системе единиц СИ

б - Asynchronous Machine pu Units- параметры машины задаются в системе относительных единиц

Рис. 1. Пиктограмма асинхронных машин

Порты модели А, В и С являются выводами статорной обмотки машины (рис. 1, а порты а, b и с - обмотки ротора машины). Порт Tm предназначен для подачи момента сопротивления движению. На выходном порту m формируется векторный сигнал, состоящий из 21 элемента: токов, потоков и напряжений ротора и статора в неподвижной и вращающейся системах координат, электромагнитного момента, угловой частоты вращения вала, а также его углового положения. Для удобства извлечения переменных машины из вектора в системном блоке SimPowerSystems предусмотрен блок Machines Measurement Demux. Модель асинхронной машины включает в себя модель электрической части, представленной моделью пространства состояний четвертого порядка, и модель механической части в виде системы второго порядка. Все электрические переменные и параметры машины приведены к статору. Исходные уравнения электрической части машины записаны для двухфазной (dq-оси) системы координат. На рис. 2 приведена схема замещения машины и ее уравнения. Уравнения электрической части машины имеют вид:

$$u_q = R_s i_{qs} + \frac{d}{dt} \gamma_{qs} + \omega \gamma_{ds}$$

$$u_d = R_s i_{ds} + \frac{d}{dt} \gamma_{ds} - \omega \gamma_{qs}$$

$$u'_{qr} = R'_r i_{qr} + \frac{d}{dt} \gamma'_{qr} + (\omega + \omega_r) \gamma'_{dr}$$

$$u'_{dr} = R'_r i_{dr} + \frac{d}{dt} \gamma'_{dr} - (\omega - \omega_r) \gamma'_{qr}$$

$$T_e = 1,5(\gamma_{ds} i_{qs} - \gamma_{qs} i_{ds}),$$

где  $\gamma_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i'_{qs}$ ,  $\gamma_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i'_{ds}$ ,  $\gamma'_{qr} = L'_r i_{qr} + L_m i_{qs}$ ,  $\gamma'_{dr} = L'_r i_{dr} + L_m i_{ds}$ ,  $L_s = L_{ls} + L_m$ ,  $L'_r = L'_{lr} + L_m$ ,

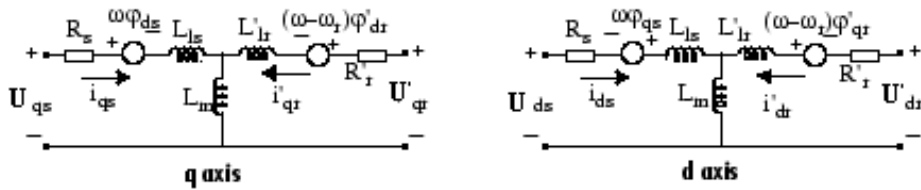


Рис. 2. Схема замещения асинхронной машины

Индексы в системе уравнений машины имеют следующие значения:

$d$  - Проекция переменной на ось  $d$ ;  $q$  - проекция переменной на ось  $q$ ;

$r$  - Индекс, обозначающий параметр или переменную ротора;

$s$  - Индекс, обозначающий параметр или переменную статора;

$l$  - Индуктивность рассеяния;  $m$  - индуктивность цепи намагничивания.

Механическая часть машины описывается двумя уравнениями

$$\frac{d}{dt} \omega_m = \frac{1}{2H} (T_e - F \omega_m - T_m), \quad \frac{d}{dt} \theta_m = \omega_m.$$

Переменные в уравнениях машины имеют следующие значения:

$R'_s, L'_s$  - активное сопротивление и индуктивность рассеяния статора;

$R'_r, L'_r$  - активное сопротивление и индуктивность рассеяния ротора;

$L_m$  - Индуктивность цепи намагничивания;

$L_s L'_r$  - полные индуктивности статора и ротора;

$u_q, i_{qs}$  - проекции напряжения и тока статора на ось  $q$ ;

$u'_{qr}, i'_{qr}$  - проекции напряжения и тока ротора на ось  $q$ ;

$u_d, i_{ds}$  - проекции напряжения и тока статора на ось  $d$ ;

$u'_{dr}, i'_{dr}$  - проекции напряжения и тока ротора на ось  $d$ ;

$\gamma_{ds}, \gamma_{qs}$  - проекции потокосцепления статора на оси  $d$  и  $q$ ;

$\gamma'_{dr}, \gamma'_{qr}$  - проекции потокосцепления ротора на оси  $d$  и  $q$ ;

$\omega_m$  - угловая частота вращения ротора;

$\theta_m$  - угловое положение ротора;

$p$  - число пар полюсов;

$T_e$  - электромагнитный момент;

$T_m$  - механический момент на валу;

$J$  - суммарный момент инерции машины и нагрузки;

$H$  - суммарная инерционная постоянная машины и нагрузки;

$F$  - суммарный коэффициент вязкого трения (машины и нагрузки).

С Simulink-моделью асинхронной машины можно ознакомиться, открыв библиотеку powerlibmodels.mdl в папке toolbox\physmod\powersys\ powersys.

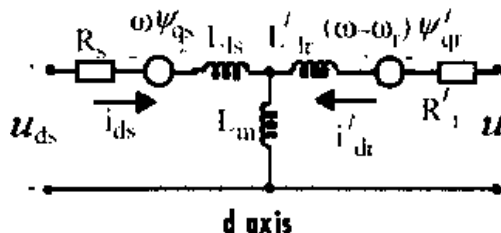


Рис. 3. Модель трёхфазного асинхронного двигателя

**Параметры блока:**

**Preset model** [Выбор модели]: Параметр позволит выбрать модель машины из каталога.

**Show detailed parameters** [Показать параметры модели]: При установленном флажке параметры модели доступны для просмотра и изменения.

**Rotor type** [Тип ротора]: Значение параметра выбирается из списка:

- > Squirrel-Cage - короткозамкнутый ротор, или «беличья клетка»;
- > Wound - фазный ротор.

**Reference frame** [Система координат]: Значение параметра выбирается из списка:

- > Rotor - неподвижная относительно ротора;
- > Stationary - неподвижная относительно статора;
- > Synchronous - вращающаяся вместе с полем.

**Nom. power, L-L volt, and frequency** [ $P_n$  (VA),  $V_n$  (V),  $f_n$  (Hz)]: [Номинальная мощность  $P_n$  (ВА), действующее линейное напряжение  $U_n$  (В) и номинальная частота  $f_n$  (Гц)].

**Stator** [ $R_s$  (Ohm)  $L_s$  (H)]: [Активное сопротивление  $R_s$  (Ом) и индуктивность  $L_s$  (Гн) статора].

**Rotor** [ $R_r$  (Ohm)  $L_r$  (H)]: [Активное сопротивление  $R_r$  (Ом) и индуктивность  $L_r$  (Гн) ротора].

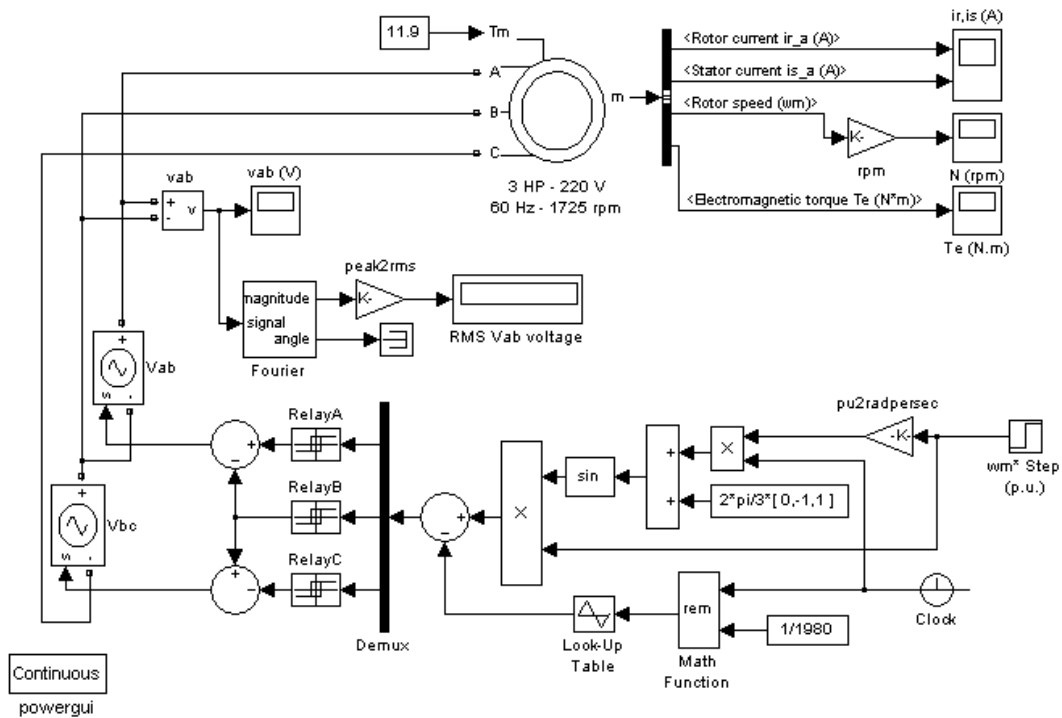


Рис. 3. Модель имитации пуска трёхфазного асинхронного двигателя в MATLAB

**Mutual inductance  $L_m$  (H)**: [Взаимная индуктивность (Гн)].

**Inertia, friction factor and pairs of poles** [ $J$  ( $kg \cdot m^2$ )  $F$  ( $N \cdot m \cdot s$ )  $p$ ]: [Момент инерции  $J$  ( $кг \cdot м^2$ ), коэффициент трения  $F$  ( $Н \cdot м \cdot с$ ) и число пар полюсов  $p$ ].

**Initial conditions** [ $s$   $th$  (deg)  $isa$ ,  $isb$ ,  $isc$  (A)  $phA$ ,  $phB$ ,  $phC$  (deg)]: [Начальные условия]. Параметр задается в виде вектора, каждый элемент которого имеет следующие значения:

- >  $s$  - скольжение;
- >  $th$  - фаза (град.);
- >  $isa$ ,  $isb$ ,  $isc$  - начальные значения токов статора (А);
- >  $phA$ ,  $phB$ ,  $phC$  - начальные фазы токов статора (град.).

Начальные условия машины могут быть вычислены с помощью блока Powergui.

Исходными данными для расчета параметров машины являются следующие:

$P_n$  - номинальная мощность [Вт];

$U_n$  - номинальное линейное напряжение [В];

$f_l$  - частота сети [Гц];

$n_n$  - номинальная угловая частота вращения вала [об/мин];

$p$  - число пар полюсов;

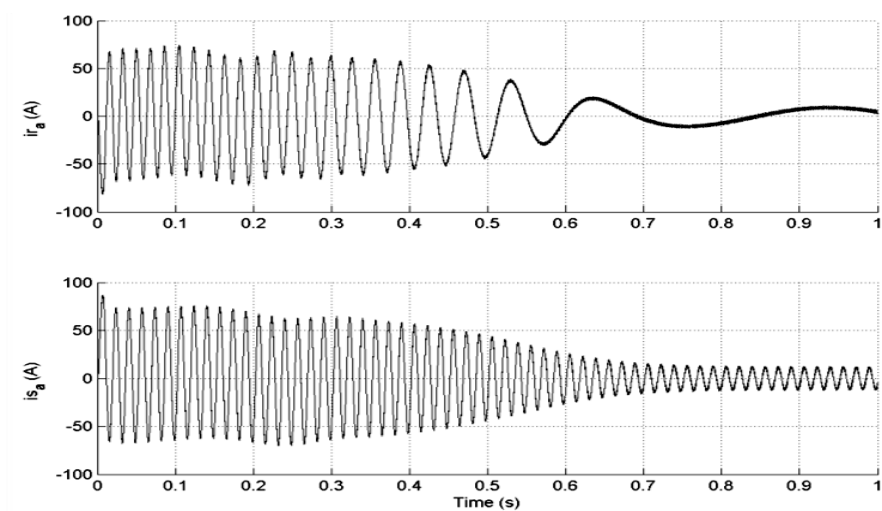


Рис. 4. Ток ротора и статора при имитации пуска асинхронного двигателя в MATLAB

#### Список литературы / References

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: СПб. Питер, 2008. С. 167-172.
2. Файзиев М.М., Тошев Т.У., Орипов А.А. Активно-индуктивная нагрузка стабилизатора на базе магнитного усилителя // Наука, техника и образование, 2016. № 3 (21). С. 108-111.
3. Файзиев М.М., Тошев Т.У., Ниматов К.Б., Умиров А.П. Обобщенные характеристики магнитного усилителя // Наука, техника и образование, 2016. № 4 (22). С. 24-27.